

Joonas Varkoi

Ravinteiden kulutus vesiviljelyssä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kemiantekniikka

Insinöörityö

3.2.2016

Tekijä(t) Otsikko	Joonas Varkoi Ravinteiden kulutus vesiviljelyssä
Sivumäärä Aika	25 sivua + 4 liitettä 3.2.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kemiantekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Lehtori Mikko Halsas Laboratorioinsinööri Marja-Leena Åkerman
<p>Tässä työssä perehdyttiin vesiviljelyyn ja siinä käytettyihin ravinteisiin. Vesiviljelyllä tarkoitetaan mitä tahansa kasvien kasvatustapaa, jossa ei käytetä multaa kasvualustana. Vesiviljelyssä kasveja kasvatetaan pelkässä ravinneliuoksessa.</p> <p>Tutkimuksissa käytettiin Järvikylän kartanon lehtisalaattia ja seurattiin ravinteiden määrän muutosta kasvien ravinneliuoksessa kolmen viikon ajan. Kokeessa seurattiin kolmea yleisintä ravinnetta: typpeä, kaliumia ja fosforia. Kasvien ravinneliuoksen pH ja johtokyky mitattiin. Lisätyt liuokset ja kasvin paino punnittiin. Kasvit kuvattiin viikoittain.</p> <p>Kalium analysoitiin mikroplasma-atomiemissiospektrometrillä (MP-AES). Typpi ja fosfori määritettiin Hach Langen DR 3900 -spektrofotometrillä. pH ja johtokyky mitattiin Mettler toledo SG78 -mittarilla.</p> <p>Tulosten perusteella voidaan päätellä, että ravinteiden kertyminen aiheuttaa happamoitumista ja että johtokyvyn mittaus olisi helpoin menetelmä ravinteiden kulutuksen seuraamiseksi.</p>	
Avainsanat	Vesiviljely, kalium, typpi, fosfori, MP-AES

Author(s) Title	Joonas Varkoi Consumption of nutrients in hydroponics
Number of Pages Date	25 pages + 4 appendices 3 February 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Chemical Engineering
Specialisation option	
Instructor(s)	Mikko Halsas, Senior Lecturer Marja-Leena Åkerman, Laboratory Engineer
<p>Purpose of this thesis was to study hydroponics and the nutrients used in it. Hydroponics means any way of growing plants without soil. In hydroponics plants are grown in nutrient solution.</p> <p>Järvikylän kartano lettuce was used in the research to track changes of nutrient levels in the nutrient solution for three weeks. Three most common nutrients were tracked: nitrogen, potassium and phosphorus. Conductivity and pH of the nutrient solution was measured. The solutions added and the plants were weighed. The plants were photographed weekly.</p> <p>Potassium was analyzed with a microwave plasma atomic emission spectroscope (MP-AES). Nitrogen and phosphorus were analyzed with the Hach Lange DR 3900 spectrophotometer. Conductivity and pH were analyzed with the Mettler toledo SG78 meter.</p> <p>Conclusions from the results were that accumulation of nutrients causes acidification and that measuring conductivity would be the easiest method to follow the consumption of nutrients.</p>	
Keywords	Hydroponics, potassium, nitrogen, phosphorus, MP-AES

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Vesiviljely	2
2.1	Vesiviljely ja sen edut	2
2.2	Kastelujärjestelmät	3
2.2.1	Sprinklerijärjestelmä	4
2.2.2	Tihkukastelu	4
2.2.3	Ravinnekalvotekniikka	4
2.2.4	Syvävirtaustekniikka	5
2.2.5	Tulvakastelu	5
3	Kasvien kasvuun vaikuttavat tekijät	5
3.1	Valo	5
3.1.1	Valon määrän vaikutus kasvuun	6
3.1.2	Valon laadun vaikutus kasvuun	6
3.1.3	Valonpuute kasvua rajoittavana tekijänä	7
3.1.4	Kasvihuoneen valoisuuteen vaikuttavia tekijöitä	8
3.1.5	Keinovalo	8
3.2	Lämpötila	9
3.3	Vesi	9
3.3.1	Veden merkitys kasville	9
3.3.2	Kastelutarpeeseen vaikuttavat tekijät	9
3.3.3	Vedenpuute kasvua rajoittavana tekijänä	10
3.3.4	Ilman kosteus	10
3.4	Johtokyky	10
3.5	pH	10
3.6	Ravinteet	11
3.6.1	Typpi	11
3.6.2	Kalium	11
3.6.3	Fosfori	12
3.6.4	Kalsium	12
3.6.5	Magnesium	13
3.6.6	Rikki	13
3.6.7	Rauta	13
3.6.8	Mangaani	13
3.6.9	Sinkki	14

3.6.10	Boori	14
3.6.11	Kupari	14
3.6.12	Molybdeeni	14
3.6.13	Kloori	15
4	Laitteet	15
4.1	Agilent 4100 MP-AES	15
4.2	Hach lange DR 3900 ja LT 200	17
4.3	Mettler toledo SG78 – SevenGo Duo pro™ pH/Ion/Conductivity	18
5	Materiaalit ja menetelmät	18
5.1	Koejärjestelyt	18
5.2	Ravinneliuos	18
5.3	Näytteenotto	18
6	Koesuunnitelma	19
7	Tulokset	20
8	Tulosten tarkastelu	23
9	Yhteenveto	24
	Lähteet	25
	Liite 1: Kaliumin MP-AES-raportti	
	Liite 2: Kasvien kuvat	
	Liite 3: Tulokset: Ravinteiden määrät, johtokyky, pH, lisätty vesi ja kasvin paino	
	Liite 4: Kuvaajat	

1 Johdanto

Tässä työssä tutkitaan vesiviljelyä ja siinä käytettäviä ravinteita. Vesiviljelyllä eli tarkoitetaan mitä tahansa kasvien kasvatustapaa, jossa ei käytetä multaa kasvualustana. Vesiviljelyssä kasveja kasvatetaan pelkässä ravinneliuoksessa.

Tutkimuksissa tutkitaan lehtisalaattia ja seurataan ravinteiden määrän muutosta kasvien ravinneliuoksessa kolmen viikon ajan. Kokeessa seurataan kolmea yleisintä ravinnetta: typpeä, kaliumia ja fosforia. Kasvien ravinneliuoksen pH ja johtokyky mitataan. Lisätyt liuokset ja kasvin paino punnitaan. Kasveista otetaan myös kuvat.

Kaliumin analysointiin käytetään mikroplasma-atomiemissiospektrometria (MP-AES). Typpi ja fosfori määritetään Hach Langen DR 3900 -spektrofotometrillä. pH ja johtokyky mitataan Mettler toledo SG78 -mittarilla.

2 Vesiviljely

2.1 Vesiviljely ja sen edut

Vesiviljelyllä eli hydroviljelyllä tarkoitetaan mitä tahansa kasvien kasvatustapaa, jossa ei käytetä multaa kasvualustana. Vesiviljelyssä kasveja kasvatetaan pelkässä ravinneliuoksessa. Mullan sijasta voi olla muita väliaineita tukemassa kasvia ja suojaamassa sen juuria. Vesiviljelyn ansiosta voidaan viljellä myös alueilla, joissa on pulaa viljelyyn soveltuvasta maasta. [1, s. 21–22.]

Vesiviljely yleistyi kaupallisessa mittakaavassa sen tuottavuuden ja tehokkuuden takia 1950- ja 1960-luvuilla. Sen seurauksena tehtiin parannuksia juuristotautien, hapenpuutteen, ravinteiden kontrolloinnin ja kasteluun liittyen. 1970-luvulla kivivillassa viljely lähti nousuun. Lannoituksen ja kastelun yhdistäminen johti ravinneliuosten kehittämiseen. Kun lannoite liuotettiin veteen, tuloksena oli ravinneliuos, josta saatiin kasveille oikea määrä ravinteita optimaaliseen kasvuun. [2, s. 157.]

Vesiviljelyllä on seuraavia etuja:

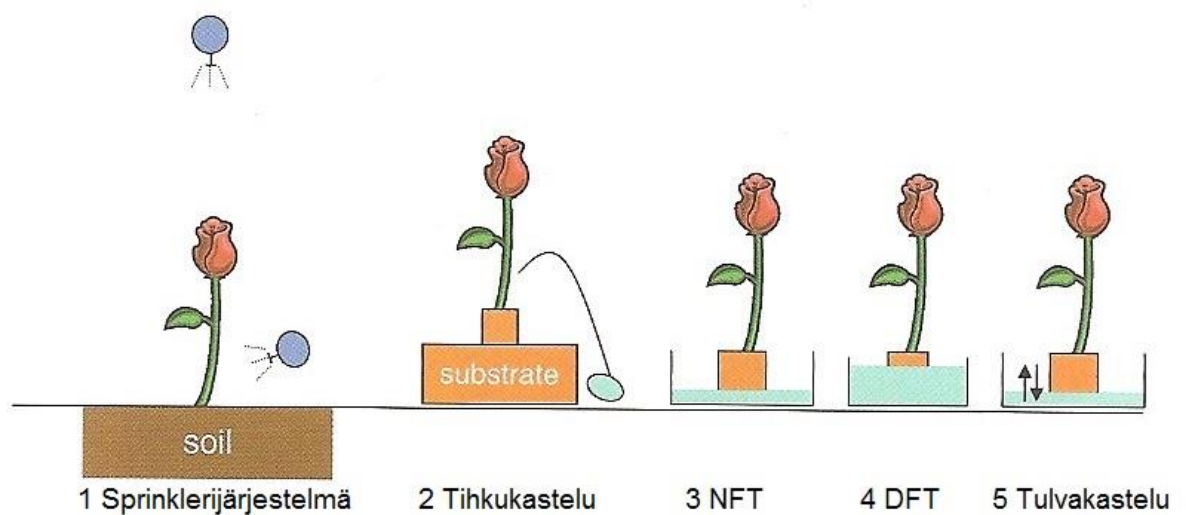
- kasvien parantunut laatu
- suuremmat tuotot
- kasvin ravinteiden parempi kontrollointi
- puhtaus
- tehokkaampi tilan käyttö (kasvit voidaan istuttaa lähemmäksi toisiaan)
- yhtenäiset tulokset
- terveemmät kasvit
- toiminnan yksinkertaisuus
- kasvin vaihtamisen helppous
- pienempi työvoiman tarve
- parempi lisäämisen/idättämisen/juuruttamisen onnistumissuhde
- alhaisemmat kustannukset

- ei rikkaruohoja
- ei maaperästä syntyviä kasvisairauksia [3, s. 7.]

Vesiviljelyä on käytetty ainakin seuraavilla kasveilla: artisokka, munakoiso, papu, punajuuri, kaali, porkkana, selleri, chili, kurkku, purjo, salaatti, meloni, sipuli, palsternakka, herneet, peruna, retiisi, raparperi, kurpitsa, bataatti ja tomaatti. [1, s. 255–277.]

2.2 Kastelujärjestelmät

Kastelu on prosessi, jossa huolehditaan kasvien veden saannista. Liian vähäinen tai liiallinen kastelu vähentää tuottavuutta, ja pahimmassa tapauksessa seurauksena voi olla jopa kasvin kuolema. Veden mukana kasvi saa siihen liuenneita ravinteita ja happea. Kastelu voidaan suorittaa kasvin yläpuolelta ja juurivyöhykkeen päältä tai alta. Kukin näistä kastelujärjestelmistä edellyttää teknisiä laitteita. Kuvassa 1 olevat kastelujärjestelmät on selitetty seuraavissa luvuissa. [2, s. 117, 162.]



Kuva 1. Kastelujärjestelmät [2, s. 162].

2.2.1 Sprinklerijärjestelmä

Sprinklerijärjestelmässä kastelu tapahtuu kasvin yläpuolelta. Kasvit, joiden lehtien kastuminen ei ole toivottavaa, voidaan kastella tyvestä mikrosprinklereillä. Sprinklerijärjestelmän hyvä puoli on alhaiset investointi- ja käyttökustannukset. Jokaisella sprinklerisuuttimella on pyöreä veden jakautumismalli. Usealla sprinklerisuuttimella saadaan tasaisempi kuvio. Kaikille viljelykasveille sprinklerijärjestelmä ei sovi, sillä joillakin viljelykasveilla lehtien kastuminen lisää kasvitautien riskiä. [2, s. 162.]

Modernit sprinklerijärjestelmät on suunniteltu kasvatusjärjestelmän ja viljelijän vaatimusten mukaan. Ulkona taimitarhatuotannossa sprinklerit voivat olla pyöriviä ja suihkuttaa vettä 2–20 metrin päähän tai ilman liikkuvia osia olevia, jotka suihkuttavat vettä pyöreälle alueelle 1–5 metrin päähän. Kasvihuonetuotannossa sprinklerijärjestelmä ei ole niin yleinen ja suuttimet ovat mikrosprinklereitä, jotka käyttävät vähemmän vettä ja suuremmalla tarkkuudella suoraan tyveen. Joillakin sprinklereillä on vuotoja ehkäisevä painekompensointi, jolloin vettä suihkutetaan vain kun paine on määrätyllä alueella. [2, s. 162.]

Alhaisten kustannusten ansiosta sprinklerijärjestelmä on ulkoilmatuotannossa eniten käytetty järjestelmä. Viljelijät käyttävät sprinklerijärjestelmää vain silloin, kun kasvit sijaitsevat lähellä toisiaan. Kaukana toisistaan olevien kasvien kasteluun käytetään yleensä mikrosprinklereitä tai tihkutusjärjestelmää, joissa veden osumistarkkuus on tavallista sprinklerijärjestelmää parempi. [2, s. 163.]

2.2.2 Tihkukastelu

Tihkukastelujärjestelmä on suosituin kastelujärjestelmä kasvihuonevesiviljelyssä. Siinä putkesta haarautuu paljon pieniä letkuja, joiden päässä on suutin. Niiden avulla saadaan kastelu tarkasti haluttuun paikkaan, yleensä kasvin tyveen. Sitä käytetään etenkin silloin, kun kasvit sijaitsevat kaukana toisistaan. Tihkukastelun osumatarkkuus säästää sekä vettä että ravinteita. [2, s. 163.]

2.2.3 Ravinnekalvotekniikka

Ravinnekalvotekniikka eli NFT (Nutrient Film Technique) on kastelujärjestelmä, jossa kasvien juuret sijaitsevat kourun pohjalla, jossa ravinneliuos virtaa ohuena kerroksena.

Ensin sitä pidettiin ihanteellisena kastelujärjestelmässä, mutta kasvitautien vuoksi sitä käytetään nykyään vain muutamilla kasveilla. [2, s. 164.]

Järjestelmässä on 0,3 - 2 %:n kalteva kouru, jonka pohjalla juuret sijaitsevat. Ravinneliuos virtaa kourua pitkin pitäen juuret märkinä. Liian pienellä virtauksella kasvi ei saa tarpeeksi ravinteita. Kourun leveys vaihtelee kasvin mukaan. Esimerkiksi salaatile se on 4 - 8 cm ja tomaatille 15 cm. Kourun pituus vaihtelee 1 - 20 metrin välillä. Ravinneliuoskerroksen tulee kuitenkin olla mahdollisimman ohut, kuin kalvo. [2, s. 165.]

2.2.4 Syvävirtaustekniikka

Syvävirtaustekniikka eli DFT (Deep Flow Technique) on ravinnekalvotekniikan kaltainen kastelujärjestelmä, jossa juuret pidetään virtaavassa ravinneliuoksessa. Ravinneliuosta on kuitenkin paksumpi kerros, noin 5 - 15 cm, mikä helpottaa sen kontrollointia. Kasvit käyttävät vain pienen osan ravinneliuoksesta. [2, s. 165.]

2.2.5 Tulvakastelu

Tulvakastelu on veden hallittua siirtämistä kasteltaville alueille. Menetelmässä vettä valutetaan alueelle niin paljon, että kasvin juuret jäävät veden alle. Kun kyseessä ovat suuret alueet, tulvakastelu on tehokkain. [2, s. 167.]

3 Kasvien kasvuun vaikuttavat tekijät

3.1 Valo

Valo on sähkömagneettista värähtelyä, joka etenee aaltoliikkeenä. Aallonpituuden mitayksikkö on nanometri (nm). Näkyvä valo on aallonpituudeltaan 390 - 760 nm. Alle 390 nm:n aallonpituus on ultraviolettisäteilyä ja yli 760 nm:n aallonpituus on infrapunasäteilyä. Nämä molemmat ovat kasveille haitallisia. [4, s. 32.]

3.1.1 Valon määrän vaikutus kasvuun

Kasvien kasvu on yleisesti ottaen sitä voimakkaampaa, mitä enemmän valoa ne saavat. Tämä pätee kuitenkin vain tiettyyn rajaan asti. Liian voimakas valo voi olla haitallista. Mitä vähemmän valoa on, sitä alhaisempana on pidettävä lämpötila. [4, s. 32.]

Valaistusvoimakkuuden eli tietylle pinnalle saapuvan valon määrän yksikkö on luks (lx). Aurinkoisena kesäpäivänä valaistusvoimakkuus voi nousta 100 000 luksiin, ja pilvisellä ilmalla se saattaa olla vain 10 000 luksia. Varjostetussa kasvihuoneessa se voi olla vielä vähemmän. Silloin kasveille tulisi antaa lisävaloa niin, että valaistusvoimakkuus pyritään pitämään 5 000 - 11 000 luksissa. [4, s. 32.]

Säteilyenergian yksikkö on wattitunti (Wh). Kasvihuoneeseen tuleva säteily ilmoitetaan milliwattitunteina neliösenttimetriä kohti vuorokaudessa (mWh/cm²/d). Säteilyn määrän noustessa alkaa tapahtua kasvua. Esimerkiksi salaatilla voidaan saada taloudellista lisäkasvua säteilyn määrän ylittäessä vuorokaudessa 80 mWh neliösenttimetriä kohti. [4, s. 32.]

3.1.2 Valon laadun vaikutus kasvuun

Valon määrän lisäksi kasvin kehitykseen vaikuttaa myös valon laatu. Valon aallonpituus määrää sen ominaisuudet, kuten värin ja vaikutuksen kasviin. Auringon valossa on runsaasti sinistä, keltaista ja punaista. Useita aallonpituuksia sisältävä valo takaa tasaisen kasvun, koska sen eri aallonpituudet vaikuttavat kasvin eri toimintoihin. Teko-valoa käytettäessä on huomioitava valon laatu. Valo on kasveille energian lähde yhteyttämiseen. Valon avulla kasvit muodostavat hiilidioksista ja vedestä sokeria. Yhteyttämislle edullisimpia aallonpituuksia ovat 390 - 505 nm ja 590 - 760 nm. Taulukossa 1 on esitetty valon aallonpituuden vaikutukset kasvuun. [4, s. 33–35.]

Taulukko 1. Valon aallonpituudet ja vaikutukset kasvuun [4, s. 33].

Säteilylaji	Aallonpituus (nm)	Vaikutus kasvuun
Ultraviolettisäteily		Kasveille epäedullista ehkäisee kasvua
Näkyvä valo:		
Violetti	390 - 430	Kasveille edullista, etenkin violetti ja sininen
Sininen	430 - 485	Tukevoittaa vartta
Sinivihreä	485 - 505	Lisää yhteyttämistä
Vihreä	505 - 530	Heijastuu takaisin vihreistä lehdistä
Kellanhvihreä	530 - 560	Vaikuttaa heikosti yhteyttämiseen
Keltainen	560 - 590	
Oranssi	590 - 620	Imeytyy voimakkaasti lehtiin
Punainen	620 - 760	Edistää pituuskasvua Lisää huomattavasti yhteyttämistä
Infrapunasäteily	760 - 10 000	Kasveille epäedullista Venyttää kasvua

3.1.3 Valonpuute kasvua rajoittavana tekijänä

Nettokasvu

Jos valoa on vähän, päivällä yhteytetty sokerimäärä kuluu hengitykseen eikä lisäkasvuun. Keskimäärin 40 % yhteytetystä sokerista kuluu hengitykseen. Nettokasvun saavuttamiseksi yhteyttämistuotteita tulisi muodostua enemmän kuin hengityksessä kuluu.

Nettokasvu = yhteyttäminen - hengitystappio

Nollakasvu

Valon vähäisyyden vuoksi kaikki yhteyttämisessä syntynyt sokeri palaa hiilidioksidiksi ja vedeksi eikä kasvin paino lisäännä. Ilmiötä kutsutaan nollakasvuksi ja sitä tapahtuu korkean lämpötilan nopeuttaessa hengitystä. Valoa lisäämällä tai lämpötilaa alentamalla nollakasvu voidaan muuttaa nettokasvuksi.

Nollakasvu = yhteyttäminen ja hengitys ovat yhtä suuret

Kalpeutumiskasvu eli etiloituminen

Niukkavaloisinakin aikoina kasvin versot kasvavat jonkin verran. Yhteyttämistuotteiden sijaan kasvu tapahtuu hajottamalla vanhaa solukkoa ja tekemällä siitä uutta solukkoa. Kasvi on silloin normaalia vaaleamman vihreä, sillä lehtivihreää muodostuu vähän. Etiloitumisen haittoina on alentunut kasvin paino, pidentynyt varsi, heikot kukat ja versot sekä vararavinnon hukkaamisesta johtuva heikko kasvu. Etiloituminen voidaan estää alentamalla lämpötilaa, lisäämällä valoa tai rajoittamalla veden saantia. [4, s. 36–37.]

3.1.4 Kasvihuoneen valoisuuteen vaikuttavia tekijöitä

Valon saannin maksimoimiseksi tulisi ottaa huomioon seuraavat asiat:

- Valon tulosuuntaan eli etelään tulisi jättää vähintään 100 m avointa tilaa.
- Kasvihuoneen pitkien sivujen tulisi olla itä-länsisuunnassa.
- Matala sokkeli on eduksi.
- Useita kasvihuoneita rakennettaessa niiden väliin tulee jättää runsaasti tilaa; 12 m leveiden kasvihuoneiden on jätettävä 8 m tilaa; 20 m leveiden väliin 15 m.
- Huoltorakennus kannattaa sijoittaa kasvihuoneen pohjoispuolelle.
- Valonsäteiden tullessa kasvihuoneeseen mahdollisimman suorassa kulmassa, suurin osa pääsee sisään - vähävaloisena aikana, auringon ollessa matalalla säteily tulee edullisessa kulmassa.
- suuret ja puhtaat ruudut sekä kapeat puitteet edistävät valoisuutta. [4, s. 39–40.]

3.1.5 Keinovalo

Keinovaloa käytetään silloin, kun tarvitaan lisävaloa, viritysvaloa tai häirintävaloa. Lisävalolla pyritään saamaan kasvi yhteyttämään ja tuottamaan nettokasvu. Viritysvaloa käytetään, kun halutaan pitkänpäivän kasvien kasvupisteissä erilaisia kukka-aiheita. Kun kukka-aiheiden liian aikaista muodostumista halutaan välttää, käytetään häirintävaloa. Lisävaloa tarvitaan ainakin lokakuun lopusta helmikuun puoleen väliin. Silloin luonnonvalo ei riitä nettokasvuun. Lisävalossa pitäisi olla runsaasti sinistä ja punaista säteilyä. Hehkulamput eivät sovellu lisävalon lähteeksi. [4, s. 40–41.]

3.2 Lämpötila

Yhteyttämistuotteestaan, sokerista, kasvit valmistavat monia yhdisteitä. Lämpötila määrää niiden muodostumisnopeuden sekä kulkeutumisen kasvissa. Lämpötilan kohotessa kasvu nopeutuu, kasvin hengitys nopeutuu ja sen käyttöön vapautuu energiaa. Liian korkea lämpötila kuitenkin kiihdyttää hengitystä liikaa ja pysäyttää kasvun. [4, s. 52.]

Kasvun perusteella voidaan määrittää minimi-, optimi- ja maksimilämpötila. Minimilämpötila on alhaisin lämpötila, jossa kasvu tapahtuu. Optimilämpötilassa kasvu on nopeinta. Maksimilämpötila on korkein lämpötila, jossa kasvu vielä havaitaan. Lämpötilaa säädellään optimilämpötilan pitämiseksi. Poikkeamat pienentävät satoa, huonontavat sen laatua ja muuttavat valmistumisaikaa. Sato valmistuu hitaammin, jos lämpötila on liian alhainen. [4, s. 53.]

3.3 Vesi

3.3.1 Veden merkitys kasville

Kasvissa vesi toimii aineenvaihdunnan raaka-aineena. Vedestä ja hiilidioksidista kasvit muodostavat yhteyttäessään sokeria. Vettä tarvitaan myös liuottimeksi. Aineenvaihdunta soluissa tapahtuu liuenneiden aineiden välillä. Vesi kuljettaa myös liuenneita ravinteita ja yhteyttämistuotteita kasvin osista toisiin. Vesi mahdollistaa valkuaisaineiden turpoamisen. Solun seinien turpoaminen on myös välttämätöntä, jotta liuenneet aineet läpäisisivät ne. Vesi myös ylläpitää soluissa vallitsevaa nestejännitystä. Kasvit sisältävät runsaasti vettä. Esimerkiksi salaatin painosta 95 % on vettä. Kasvien vedensaaanti on välttämätöntä, koska niiden vesipitoisuus on niin suuri. [4, s. 45.]

3.3.2 Kastelutarpeeseen vaikuttavat tekijät

Kasvin kastelutarpeeseen vaikuttavat auringon säteilyenergian määrä, kasvuston määrä ja sää. Mitä enemmän säteilyä kasvi saa, sitä enemmän sitä täytyy kastella. Kasvuston määrä eli yhteyttävä ja haihduttava lehtipinta-ala lisää kasvaessaan kastelutarvetta. Mitä lämpimämpää on, sitä suurempi on myös kastelutarve. [4, s. 45–47.]

3.3.3 Vedenpuute kasvua rajoittavana tekijänä

Äkillinen vedenpuute aiheuttaa ruskeita laikkuja lehtiin tai lehtien reunojen kuivumista. Pitkäaikaisempi vedenpuute jättää lehdet normaalia pienemmäksi, aiheuttaa puutunutta kasvua, muuttaa lehtien värin likaisen vihreäksi sekä saattaa kiertää lehdet rullalle tai muuten epämuotoisiksi. [4, s. 49.]

3.3.4 Ilman kosteus

Ilman suhteellisella kosteudella tarkoitetaan sitä, kuinka monta prosenttia ilmassa on vettä siitä vesimäärästä, jota tietyssä lämpötilassa voisi enintään olla. Sitä enemmän on vesihöyryä, mitä korkeampi on lämpötila. Päivisin ilman suhteellinen kosteus kasvihuoneissa pidetään 70 - 90 % välillä ja öisin alhaisempana. Kosteaa ilmaa pitää kasvien huulisolut auki, jolloin kasvi saa helposti vettä ja ravinteet kulkeutuvat johtojänteisiin. [4, s. 50.]

Kosteaa ilmaa mahdollistaa kasvin haihdunnan säätelyn. Hidas haihdunta on kasville eduksi. Veden haihtumista saisi tapahtua enintään niin paljon, kuin juuret pystyvät ottamaan. Liian kuiva ilma haittaa juurtumista ja hidastaa tai estää kasvien silmujen puhkeamista. Liian kostea ilma estää veden haihtumisen kasvista. Se hidastaa kasvua ja heikentää sekä sadon määrää että laatua. Ilman kosteutta voidaan lisätä sumuttamalla vettä muutaman sekunnin ajan 5 - 10 minuutin välein. Lehtien tulisi kostua, mutta pisaroita ei saisi muodostua. [4, s. 51–52.]

3.4 Johtokyky

Johtokyky tarkoittaa sähkönjohtavuutta eli konduktanssia. Sen yksikkö on millisiemens senttimetriä kohden (mS/cm). Se määrittää veteen liuenneiden suolojen määrän. Mitä enemmän vedessä on ravinteita, sitä korkeampi sen johtokyky on. Johtokyky voidaan mitata helposti johtokykymittarilla. [4, s. 78–79.]

3.5 pH

pH-arvo määrittää kasvualustan happamuuden. Se voi vaihdella välillä 0 - 14. Mitä pienempi pH on sitä happamampaa on ja mitä suurempi pH sitä emäksisempää. Useim-

mille kasveille paras pH on 6,5 - 7. pH:ta voidaan säädellä lisäämällä jotain hapanta tai emäksistä. Esimerkiksi kalkin lisäys nostaa pH:ta. pH voidaan mitata helposti pH-mittarilla. [4, s. 77.]

3.6 Ravinteet

Kasvi ottaa juurillaan tai lehdillään kasvulle välttämättömiä alkuaineita, ravinteita. Ravinteet eivät voi korvata toisiaan, koska jokaisella ravinteella on oma tarkoituksensa kasvin kehityksessä. Valo, lämpötila ja ilman hiilidioksidipitoisuus vaikuttavat ravinteiden tarpeeseen. [4, s. 66–68.]

3.6.1 Typpi

Kasvit tarvitsevat eniten typpeä kasvuvaiheen aikana. Typpeä kuluu runsaasti valkuaisaineen muodostamiseen. Mitä isommat lehdet kasvilla on sitä enemmän se kuluttaa typpeä. Myös valo lisää typen kulutusta. [4, s. 68.]

Typestä suurin osa on kasvin valkuaisaineissa. Kasvi ottaa typen nitraatti-ioneina (NO_3^-) tai ammoniumioneina (NH_4^+). Nitraattityppi vaikuttaa nopeasti. Maassa se on helposti liikkuvaa, mutta myös helposti huuhtoutuvaa. Typpi vaikuttaa sadon määrään. Ammoniumtyppi on hidasvaikutteinen ja aiheuttaa happamuutta. [4, s. 68.]

Jos kasvi saa liikaa typpeä, se voi ilmetä rehevänä kasvuna, kasvintuhoojille alttiina ohutseinäisinä soluina, suurina ja tummina lehtinä, suvullisen vaiheen viivästymisenä sekä kaliumin ja boorin saannin heikentymänä. Typenpuute taas ilmenee pieninä ja vaaleanvihreinä lehtinä, jäykkänä ja puutuneena kasvuna, vähäisenä satona, suvullisen vaiheen aikaistumisena sekä kukkien hitaana kehityksenä. [4, s. 69.]

3.6.2 Kalium

Kaliumin tarve on lähes yhtä suuri kuin typenkin. Kalium toimii katalyyttinä yhteyttämisessä. Se ohjaa muodostuneen sokerin varastoitumista siemeniin, kukkiin ja mukuloihin. Kasvin hyvä laatu ja tanakka kasvu kertovat runsaasta kaliumpitoisuudesta. Kaliumin ansiosta kasvi hyöttyy vähäisistäkin valomääristä. Keväisin ja syksyisin kaliumin tarve on siis suurempaa. Myös pilvisillä säillä kaliumpitoisuutta on hyvä lisätä. Aamui-

sin, kun on riittävästi valoa yhteyttämiselle, kasvin ilmarakojen huulisolujen kaliumpitoisuus kasvaa voimakkaasti. Kaliumin vahvistama lehden pintasolukko vähentää veden haihtumista kasvista. Kalium parantaa kasvin vesitaloutta myös väkevöimällä solunes-tettä ja aiheuttaen osmoottisen imun. [4, s. 69.]

Vähävaloisina aikoina kaliumpitoisuutta nostamalla voidaan hidastaa vedenottoa ja siitä aiheutuvaa venyvää kasvua. Kalium säätelee myös solun happamuutta ja hiilihydraattien muodostumista. Kaliumin tarve on suurinta suvullisessa vaiheessa. Silloin puutosoireetkin ovat voimakkaita. Niitä ovat likaisenvihreät ja ruskeareunaiset lehdet sekä huono hedelmien ja kukkien laatu. Liian suurina määrinä kalium väkevöittää lehden reunan solunesteen ja aiheuttaa ruskean polttovioituksen, vaikeuttaa muiden ravinteiden saantia sekä nostaa johtokyvyn haitallisen korkeaksi. [4, s. 70.]

3.6.3 Fosfori

Fosforia kasvissa on noin kymmenesosan typen määrästä. Kaliumin lisäksi myös fosfori vahvistaa ja tukevoittaa kasvua. Taimivaiheessa kasvi tarvitsee fosforia juurten muodostamiseen. Siemenet sisältävät runsaasti fosforia. Fosfori on harvoin liikaa sen vaikealiukoisuuden vuoksi. Sen negatiivisten anionien saanti vaikeutuu kylmällä. Sopiva lämpötila on 12-28 °C kasvista riippuen. Jos fosforia on liian vähän, lehdet voivat olla aluksi harmaita ja sitten muuttua violetinpunaisiksi, juurten kasvu on heikkoa, alalehtiä putoaa, laatu ja maku kärsii. [4, s. 70–71.]

3.6.4 Kalsium

Kalsium vahvistaa kasvin vastustuskykyä. Vahvistuneet soluseinät suojaavat tuhosiemiltä, myrkyllisiltä aineilta sekä muiden ravinteiden yliannostuksilta. Kalsiumia tarvitaan myös juurten toiminnassa ja kehityksessä. Kalsiuminpuute, varisuttaa vanhoja ja kuivattaa nuoria lehtiä, heikentää ja ruskettaa juuria. Vaikka kalsiumia olisi tarjolla liikaa, kasvi ei normaalisti ota sitä. Se kuitenkin tekee kasvualustasta emäksisen ja voi haitata mangaanin, raudan, kuparin ja boorin saantia. [4, s. 71.]

3.6.5 Magnesium

Magnesium on kasveille sekä rakennusaine että katalyytti. Se katalysoi valkuaisaineiden ja hiilihydraattien muodostumista sekä vaikuttaa solujen jakautumiseen. Sitä on yhteyttämistä edistävissä entsyymeissä sekä lehtivihreässä. Magnesiumin auttaa kasvia hyödyntämään fosforin ja boorin. Liian suuri magnesium pitoisuus on harvinaista, mutta esiintyessään se aiheuttaa fosforin- ja kaliuminpuutetta. Magnesiuminpuute näkyy ensin alalehdissä, lehtivihreä häviää, ilmestyy keltaisia laikkuja ja lehtien reunat käpertyvät ylöspäin. Lisäksi kukkien väri on heikko ja kukinta myöhässä. Runsas kalium- ja kalsiumpitoisuus edistävät puutosoireita. [4, s. 72.]

3.6.6 Rikki

Rikki on kasvin valkuaisaineissa oleva katalyytti sekä rakennusaine. Liian suuri rikkipitoisuus vaikeuttaa veden saantia ja nostaa johtokykyä. Rikinpuute muuttaa lehdet vaaleanvihreiksi ja sitten punertaviksi tai kellastuneiksi. [4, s. 72.]

3.6.7 Rauta

Rauta aktivoi useita kasvin entsyymejä ja toimii katalyyttinä lehtivihreän muodostumisessa. Sitä on harvoin liikaa, mutta sen puutos aiheuttaa nuorten lehtien kellastumista suonien välistä suonien pysyessä vihreinä. Kylmä lämpötila sekä runsas fosforipitoisuus vaikeuttavat raudansaantia. [4, s. 73.]

3.6.8 Mangaani

Mangaani edistää lehtivihreän muodostumista ja entsyymien toimintaa. Se lisää soke-
rin ja hiilihydraattien muodostumista. Mangaania on harvoin liikaa, ja sen puutosoireet muistuttavat raudan puutosoireita ollen kuitenkin lievempiä. Silloin lehtisuonien väliin ilmestyy keltaisia laikkuja, mutta lehdet eivät kellastu kokonaan kuten raudanpuutteen-
sa. Emäksisyys altistaa puutosoireille. [4, s. 73.]

3.6.9 Sinkki

Sinkki toimii katalyyttina hiilihydraattien ja valkuaisaineiden muodostumisessa. Sinkkiä on myös hengitystä edistävissä entsyymeissä, ja se edistää kasvuhormonien toimintaa. Sinkin tarve kasvaa suuresti valon lisääntyessä. Liian suuri määrä sinkkiä aiheuttaa lehtiin laikkaisuutta. Sinkinpuute jättää lehdet pieneksi ja tappaa niiden kärjet aiheuttaen myös ruskeasävyisen yleisvärin sekä jättäen versot kääpiökasvuiseksi. [4, s. 74.]

3.6.10 Boori

Boori on välttämätöntä kukkien ja siementen normaalille kehitykselle. Se katalysoi valkuaisaineiden ja hiilihydraattien muodostumista. Lisäksi se säätelee solujen jakautumista kasvupisteessä ja parantaa veden ja ravinteiden saantia. Kasvit ovat herkkiä liian suurelle booripitoisuudelle. Silloin lehdet vetäytyvät kurttuun ja ne muuttuvat laikukkaiksi. Liika boori voi tuhota koko kasvin. Boorin puutteessa kasvupisteet eivät kehity, nuoret lehdet ovat kurttuaisia ja surkastuvat, siitepölyä muodostuu heikosti, juuret ruskehtuvat ja niiden kehitys ja uusiutuminen heikkoa, sokerin ja ravinteiden liikkuminen huononee. Väärä kosteus ja pH sekä runsas typpi- ja kaliumpitoisuus edistävät puutosta. [4, s. 74.]

3.6.11 Kupari

Kupari on välttämätöntä siementen kehitykseen ja lehtivihreän muodostumiseen. Se toimii katalyyttinä valkuaisaineiden ja hiilihydraattien muodostumisessa. Kuparia on hengitysentisyymeissä. Liian suuret kuparimäärät ovat harvinaisia. Kuparinpuute tappaa kasvupisteitä, vähentää valkuaisaineita, kuihduttaa nuoret lehdet sekä kuivattaa lehtien ja nuppujen reunat. Kuiva kasvualusta edistää puutosta. [4, s. 75.]

3.6.12 Molybdeeni

Molybdeeni toimii katalyyttina valkuaisaineiden ja hiilihydraattien muodostumisessa. Kylmyys, happamuus ja runsas typpi vaikeuttavat sen saantia. Liian suuret määrät ovat harvinaisia. Puute taas hidastaa kasvua ja jättää lehdet kapeiksi liuskoiksi. [4, s. 75–76.]

3.6.13 Kloori

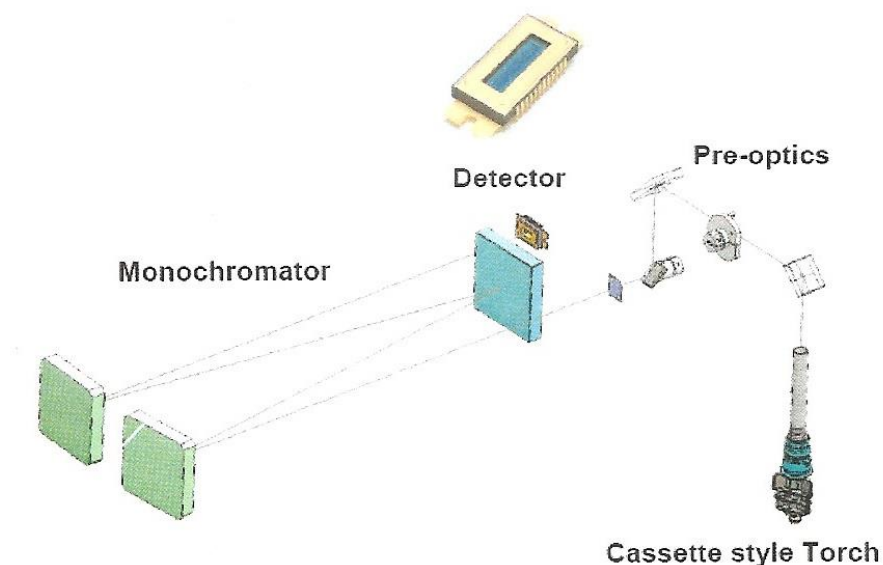
Kloorilla voidaan säädellä solujen osmoottista painetta. Jotkut kasvit eivät siedä klooria ollenkaan. Väri laikkujen muodostumista ja lehtien värin vaalenemista sanotaan kloroosiksi. Kloroosia aiheuttaa liian suuri määrä ravinteita tai niiden puute. Kylmä tai hapeton kasvualusta aiheuttaa ravinnepuutoksia sekä juuriston toimintakyvyttömyyttä. [4, s. 76.]

4 Laitteet

4.1 Agilent 4100 MP-AES

Agilent MP-AES 4100 on mikroaaltoherätteinen plasmaemissiospektrometri. Laitteistoon kuuluu myös typpigeneraattori, jonka ilmasta erottamaa typpeä käytetään plasma-kaasuna. Tämän ansiosta laitteella on alhaiset käyttökustannukset eikä tarvita helposti syttyviä kaasuja. Havaitsemisrajat ovat 2 - 10 kertaa pienempiä kuin liekki atomiabsorptiospektrometrillä.

Plasmaemissiomenetelmässä näyteliuos sumutetaan soihtuun, jossa on korkealämpötilaplasma (6000 - 9000 K). Yhdisteiden hajotessa atomit virittyvät. Viritystilan purkauksessa atomit lähettävät alkuaineille tunnusomaista säteilyä. Säteily kohdistetaan korkearesoluutioiseen monokromaattoriin, josta se tulee halutulla aallonpituusalueella ilmaisimeen. Menetelmä mahdollistaa lähes kaikkien alkuaineiden määrittämisen. Laitteen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Spektrofotometrin toimintaperiaate [5].

Näytteen syöttö: Letkupumppu pumpkaa näyteliuoksen lasiseen syklonikammioon, josta näyte sumutetaan soihdussa olevaan plasmaan. Kaasuvirtaus on 0,4 - 1,0 l/min.

Plasma: Plasma saadaan aikaan mikroaalloilla. Teholtaan mikroaaltogeneraattori on 1 kW ja magnetroni säteilee 2 450 MHz:n taajuudella. Adsorptioon perustuva typ-pigeneraattori tuottaa paineilmosta 99,5 % typpeä, jonka virtaus plasmaan on 20 l/min. Vain plasman sytytykseen käytetään argonia. Voimakas 25 l/min ilmavirta suojaa laitteen optiikkaa plasman lämpöenergialta. Plasman tulee stabiloitua 10 - 30 min ennen käyttöä.

Optiikka: Monokromaattorina laitteessa toimii hila, jossa on 2 400 uurretta/mm. Ilmaisimenä toimii CCD-ilmaisim (532 x 128 pikseliä). Ilmaisim on jäähdytetty 0 °C:seen Peltier-termoelementillä. Aallonpituusalue, jolla voidaan mitata, on 178 - 780 nm. CCD-ilmaisim rekisteröi spektrin mitattavan piikin alueelta. Tällöin taustan osuus voidaan vähentää.

Mittausohjelma: Laitteella voi mitata yhden alkuaineen kerrallaan. Ohjelma antaa jokaiselle alkuaineelle oletusarvoaallonpituudet ja ajoparametrit. Mittaus signaalina toimii ilmaisimeen tuleva intensiteetti. Ensin syötetään tunnetut standardiliuokset ja sitten mitataan näytteet. Ohjelmassa voi valita lineaarisen kalibroinnin tai origon kautta kulkevan käyräviivaisen funktion. [5.]

4.2 Hach lange DR 3900 ja LT 200

Hach Lange DR 3900 (kuvassa 3) on näkyvän valon aallonpituuksilla toimiva spektrofotometri RFID-teknologialla. RFID (Radio Frequency IDentification) eli radiotaajuinen etätunnistus tallentaa eränumerot ja viimeiset käyttöpäivät 2D-viivakoodeilla sekä tunnistaa testilaatikat.

Spektrofotometrillä mitataan näytteeseen tulevan ja sen läpi kulkeneen säteilyn intensiteettien suhde aallonpituuden funktiona. Spektrofotometrin pääkomponentit ovat säteilylähde, monokromaattori, näytetila ja valodetektori.

Latonin LCK 138 eli kokonaistyyppi- ja LCK 349 eli fosforitestit valmisteltiin ja lämmitettiin ensin Hach Langen LT200-termostaatilla (kuvassa 3) ja analysoitiin sitten DR 3900-spektrofotometrillä. [6.]



Kuva 3. Hach Langen DR 3900 ja LT200 [6].

4.3 Mettler toledo SG78 – SevenGo Duo pro™ pH/Ion/Conductivity

Mettler toledo SG78 – SevenGo Duo pro™ pH/Ion/Conductivity on ammattilaiskäyttöön tarkoitettu kaksikanavainen mittari. Sen ISM-anturihallintajärjestelmä tallentaa kalibrointitiedot anturin siruun ja käyttää niitä automaattisesti, kun se kytketään mittariin. Käytössä oli sekä pH- että johtokykyanturi. [7.]

5 Materiaalit ja menetelmät

5.1 Koejärjestelyt

Tässä työssä tutkittiin ravinteiden muutosta Järvikylän kartanon lehtisalaateissa. Salaattien juuret pestiin ja kasvit laitettiin 200 ml:n dekanterilaseihin. Kasveja oli yhteensä 20 kappaletta, joista 10 kuului A-sarjaan ja 10 B-sarjaan. Alussa molempiin sarjoihin lisättiin 150 ml ravinneliuosta. Ennen näytteiden ottoa A-sarjaan lisättiin ravinneliuosta ja B-sarjaan pelkkää tislattua vettä 150 ml:n merkkiin asti. Ravinneliuosta lisättiin kaikkiin kasveihin 15.4.2015. Kastelujärjestelmä oli lähimpänä syvävirtaustekniikkaa. Kasvilamput oli ajastettu valaisemaan kello 6–22. Kasvua seurattiin kolmen viikon ajan 9.4–29.4.2015. Näytteet otettiin kaksi kertaa viikossa.

5.2 Ravinneliuos

Tässä työssä käytettiin ravinneliuosta, joka tehtiin tislattuun veteen Growth Technology Ionic Hydro Grow -ravinteesta. Ohjeiden mukaan ravinnetta lisättiin 7 ml/l. Ravinneliuos valmistettiin viiden litran erissä.

5.3 Näytteenotto

Aina ennen näytteenottoa liuosta lisättiin 150 ml:n merkkiin asti. Kasvin paino ja lisätty liuos punnittiin. Kaikista kasveista otettiin 3 ml näytteet kaksi kertaa viikossa. Näytteet laimennettiin 1:25. Laimennuksen jälkeen näytteet suodatettiin suodatinpaperin läpi kiintoaineen poistamiseksi. Näytteitä säilytettiin jääkaapissa analysointiin asti. Vain

kuuden kasvin, kolmen kasvin kummastakin sarjasta, näytteet analysoitiin testien kustannusten ja aikataulun vuoksi.

6 Koesuunnitelma

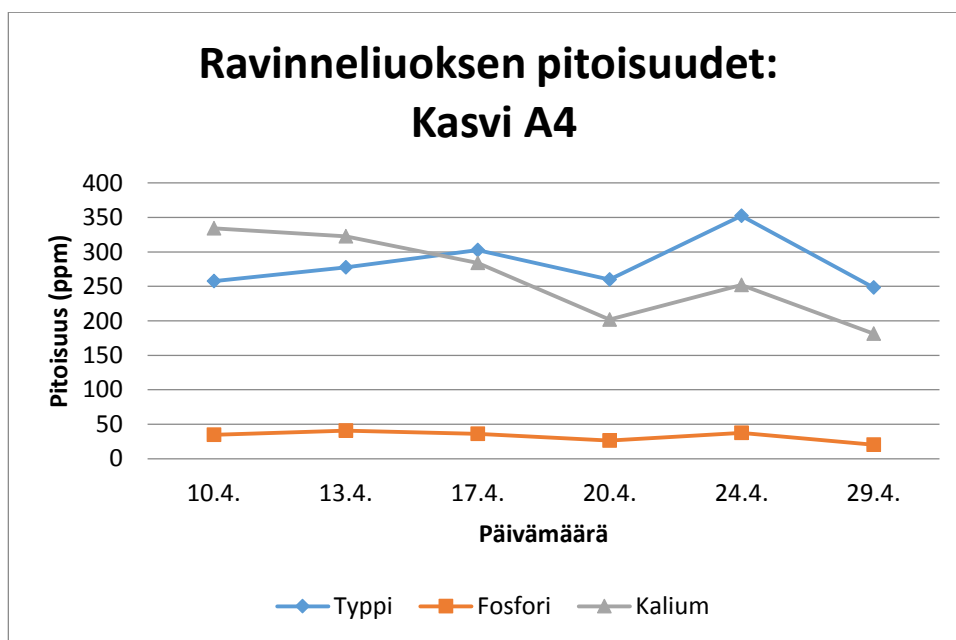
Koesuunnitelmaan merkitään kaikki mitattavat parametrit ja suunniteltujen näytteiden lukumäärät. Sen avulla saadaan kokonaiskuva tulevien mittauksien määrästä ja kustannuksista. Hyvän koesuunnitelman avulla voidaan välttyä turhilta mittauksilta ja kustannuksilta. Koesuunnitelma on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Koesuunnitelma.

Tutkittava parametri	Näytteitä	sarjat	Mittaukset yhteensä	Toteutuneet mittaukset
pH	10	6	60	109
Johtokyky	10	6	60	111
Kalium	10	6	60	32
Typpi	10	6	60	32
Fosfori	10	6	60	32
Kuvaus	20	3	60	57
Lisätty vesi			0	240
Paino			0	187
yhteensä	70		360	800

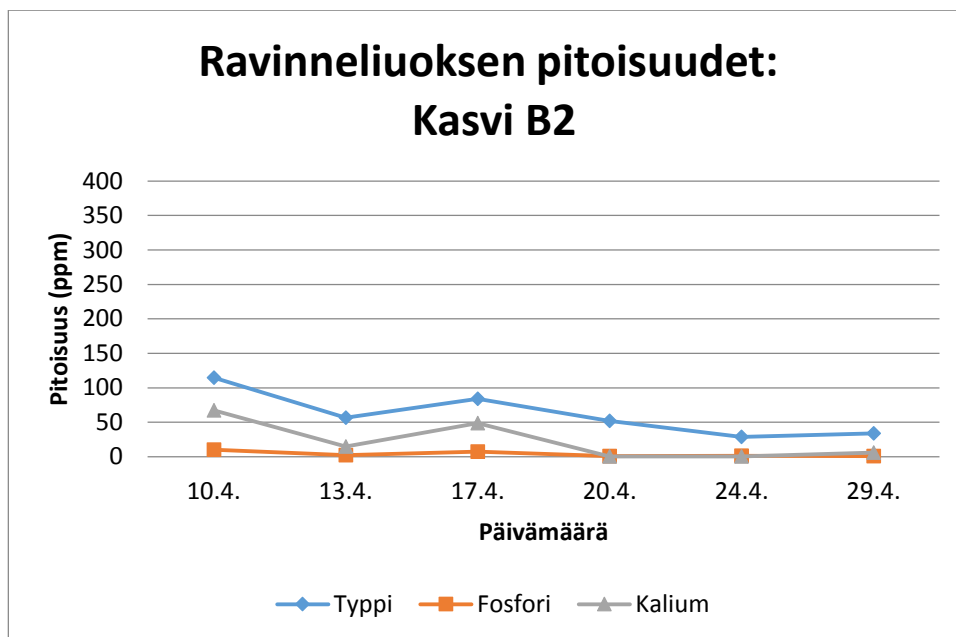
7 Tulokset

Kuvasta 4 nähdään typen, fosforin ja kaliumin muutokset kasvissa A4. Kolmen viikon aikana typen määrä laski noin 10 ppm, fosforin määrä laski noin 20 ppm ja kaliumin määrä laski noin 150 ppm. Muiden A-sarjan kasvien ravinteiden kulutus oli melko samanlainen. Loput kuvaajat ovat liitteessä 4.



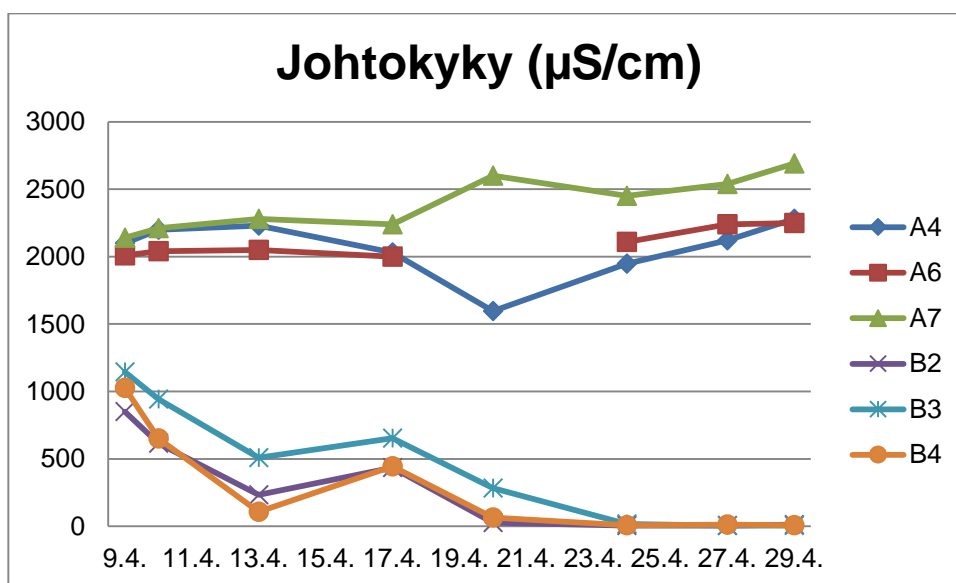
Kuva 4. Ravinteiden pitoisuuksien muutokset kasvin A4 ravinneliuoksessa.

Kuvasta 5 nähdään typen, fosforin ja kaliumin muutokset kasvissa B2. Kolmen viikon aikana typpi laski noin 80 ppm. Fosforia oli ensimmäisessä näytteessä 10 ppm, mutta se loppui jo parissa viikossa. Kaliumia ensimmäisessä näytteessä oli 67 ppm, mutta sekin loppui parissa viikossa. Muiden B-sarjan kasvien ravinteiden kulutus oli melko samanlainen. Loput kuvaajat ovat liitteessä 4.



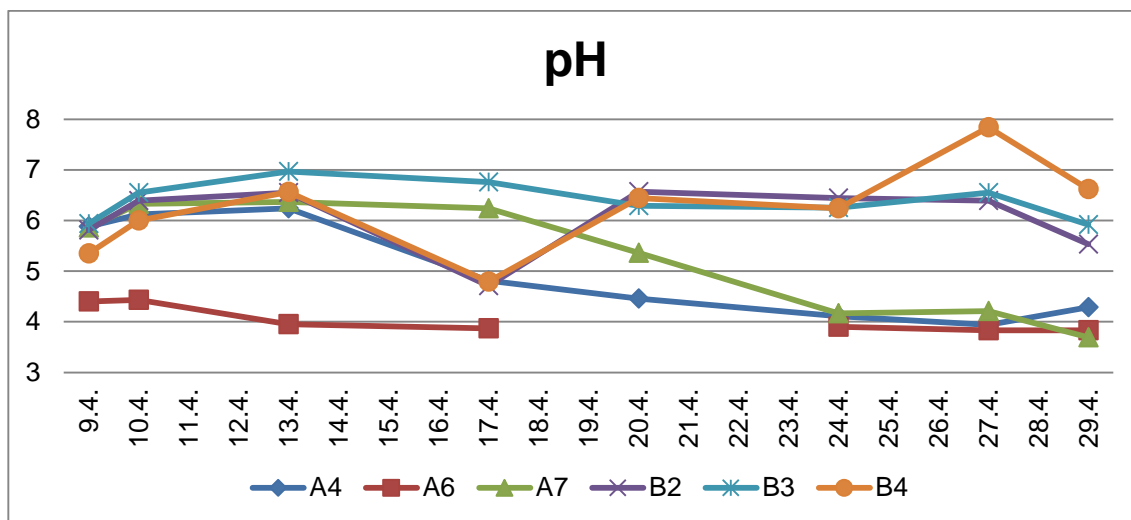
Kuva 5. Ravinteiden pitoisuuksien muutokset kasvin B2 ravinneliuoksessa.

Kuvassa 6 on molemmista sarjoista seurattujen kolmen kasvin johtokykyarvot. A-sarjan kasvien ravinneliuoksen johtokykyarvot pysyivät melko samana kolmen viikon ajan, kun taas B-sarjan johtokykyarvot laskivat lähes nollaan. Tästä voidaan päätellä, että ravinteet kuluivat loppuun.



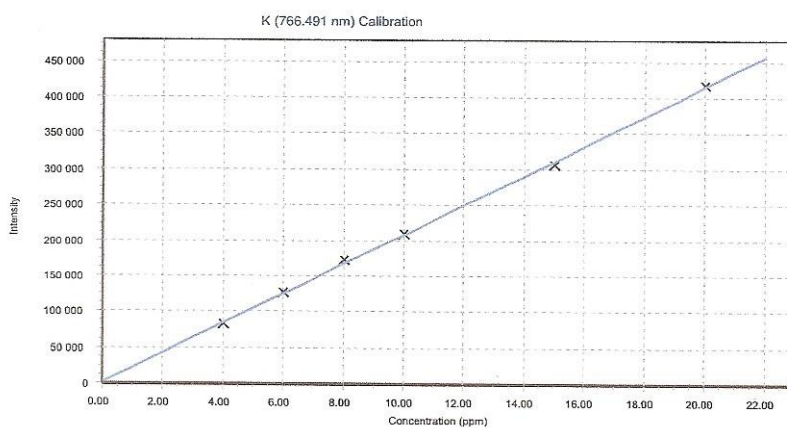
Kuva 6. Kasvien johtokykyarvot.

Kuvassa 7 on molemmista sarjoista seurattujen kolmen kasvin pH-arvot. A-sarjan kasvien ravinneliuoksen pH-arvot laskivat noin kuudesta lähelle neljää. B-sarjan kasvien ravinneliuoksen pH-arvot pysyivät lähellä kuutta koko tutkimuksen ajan.



Kuva 7. Kasvien pH-arvot.

Kuvassa 8 on kaliumin kalibroitisuora. Standardit olivat 4, 6, 8, 10, 15 ja 20 ppm. Sen perusteella saatiin analysoitua näytteiden kaliumpitoisuudet, jotka on esitetty taulukossa 5 (liite 3).



Kuva 8. Kaliumin MP-AES kalibroitisuora.

8 Tulosten tarkastelu

Molempien sarjojen tulokset olivat melko samanlaisia. A-sarjassa ravinteiden määrä pysyi melko samana koko kolmen viikon ajan. Joissakin tilanteissa ravinteita saattoi kertyä ylenmäärin, sillä kun ravinneliuosta lisättiin jatkuvasti, niin kasvi ei pystynyt kulluttamaan kaikkia ravinteita. A-sarjan kasvien pitoisuuksissa voidaan havaita pientä laskua 20. huhtikuuta. Se selittyy sillä, että edellisenä päivänä osaan lisättiin vahingossa pelkkää tislattua vettä.

B-sarjassa ravinteiden pitoisuudet kuitenkin laskivat koko kolmen viikon ajanjakson ja lopussa niitä ei ollut juuri ollenkaan. Kuvasta 5 nähdään, että 17. huhtikuuta ravinteiden pitoisuudet nousevat. Se selittyy sillä, että 15. huhtikuuta lisättiin ravinneliuosta kaikkiin kasveihin.

Kummassakaan sarjassa lisätyn veden määrä ei aiheuttanut huomattavia vaikutuksia tuloksiin. Kasvin paino ei ollut kovin hyvä mittari, koska välillä lehtiä katkeili ja niitä jouduttiin leikkaamaan pois. Pienellä aikavälillä tuloksista näki kuitenkin sen, että kasvien massat olivat nousseet. Myöskään kuvien (liite 2) perusteella ei voinut tehdä johtopäätöksiä, sillä sarjojen välillä ei ollut huomattavia eroja. Molempien sarjojen kasvit näyttivät kasvaneen pelkkää pituutta.

A-sarjassa pH-arvot laskivat lähelle neljää ja B-sarjassa pysyivät lähellä kuutta. Tästä voidaan päätellä, että ravinteiden kertyminen aiheuttaa ravinneliuoksen happamoitumista A-sarjassa.

Johtokyky ja ravinteiden pitoisuudet muuttuivat melko samalla tavalla kokeen aikana. A-sarjassa sekä ravinteet että johtokyky pysyivät melko samana kokeen ajan. B-sarjassa sekä ravinteet että johtokyky laskivat lähes olemattomiin kokeen loppuun mennessä. Tämän perusteella voidaan olettaa, että johtokyky on hyvä mittari ravinteiden kulumisen seurannassa.

9 Yhteenveto

Tässä työssä tutkittiin ravinteiden muutosta vesiviljelyssä. Kasvit jaettiin A- ja B-sarjoihin. A-sarjaan lisättiin ravinneliuosta ja B-sarjaan pelkkää tislattua vettä. Kasveina käytettiin Järvikylän kartanon lehtisalaatteja, joiden ravinteiden määrän muutosta ravinneliuoksessa seurattiin kolmen viikon ajan. Seurattavana oli kolme yleisintä ravinnetta: typpi, kalium ja fosfori. Kasvien ravinneliuoksen pH ja johtokyky mitattiin. Lisätyt ravinneliukset sekä tislattu vesi että kasvin paino punnittiin. Lisäksi kasvit kuvattiin viikoittain (liite 2).

Kalium analysoitiin mikroplasma-atomiemissiospektrometrillä (MP-AES). Typpi ja fosfori määritettiin Hach Langen DR 3900 -spektrofotometrillä. pH ja johtokyky mitattiin Mettler toledo SG78 -mittarilla. Analyysit onnistuivat hyvin.

Sarjojen sisäiset tulokset olivat melko samanlaisia. A-sarjassa ravinteiden pitoisuudet pysyivät melko samana kokeen ajan. B-sarjassa ravinteita oli vain rajoitetusti, joten ne kuluivat lähes loppuun. A-sarjassa pH-arvot laskivat lähelle neljää ja B-sarjassa pysyivät lähellä kuutta. Tästä voidaan päätellä, että ravinteiden kertyminen aiheuttaa ravinneliuoksen happamoitumista A-sarjassa. Molemmissa sarjoissa ravinteiden määristä ja johtokyvystä tuli melko samanlaiset kuvaajat. Tämän perusteella voidaan olettaa, että johtokyvyn mittaaminen olisi helpoin menetelmä ravinteiden kulutuksen seuraamiseksi.

Parannettavaa olisi ollut koejärjestelyissä. Kasveilla oli liian vähän kasvutilaa, mikä aiheutti lehtien katkeamista. Salaatteja tulisi olla vähemmän pinta-alaa kohden. Lisäksi olosuhteissa olisi voinut olla useampia tutkittavia parametreja, jolloin olisi ehkä selvinnyt paremmin ravinteiden kulumisen sijasta niiden vaikutukset kasveihin. Kasvit olisi kannattanut kasvattaa siemenestä asti ja seurata niitä pidempi ajanjakso. Näytteenotto kerran viikossa olisi riittänyt.

Lähteet

- 1 Douglas, James Sholto. 1976. Advanced guide to hydroponics (soilless cultivation) London. PELHAM BOOKS LTD.
- 2 Raviv, Michael & Lieth, J. Heinrich. 2008. Soilless culture : theory and practise. USA. Elsevier.
- 3 Gilbert, Charles C. 1949. Success without soil : how to grow plants by hydroponics. San Diego, California. Charles C. Gilbert & Company.
- 4 Partanen, Jorma. 1988. Kasvihuonetuotannon yleiset edellytykset. Helsinki: Valtion painatuskeskus.
- 5 Agilent | 4100 MP-AES. Verkkodokumentti. <<http://www.chem.agilent.com/en-US/products-services/Instruments-Systems/Atomic-Spectroscopy/4100-MP-AES/Pages/default.aspx>> Luettu 3.11.2015.
- 6 DR 3900 Benchtop Spectrophotometer. Verkkodokumentti. <<http://www.hach.com/spectrophotometers/dr-3900-benchtop-spectrophotometer/family?productCategoryId=35547203834#>> Luettu 3.11.2015.
- 7 SG78 – SevenGo Duo pro™ pH/Ion/Conductivity - Overview - METTLER TOLEDO. Verkkodokumentti. <http://fi.mt.com/fi/en/home/products/Laboratory_Analytics_Browse/pH/portable_meter/SevenGo_Duo_pro/SG78_1.html> Luettu 3.11.2015.
- 8 Åkerman, Marja-Leena. 1999. Polysyklisen aromaattisten hiilivetyjen analyysimenetelmän validointi. Opinnäytetyö. Vantaa.
- 9 Ojaniemi, Katriina. 2006. *Corynebacterium glutamicum* -bakteerin aineenvaihdunta stressiolosuhteissa. Opinnäytetyö.

Liite 1: Kaliumin MP-AES-raportti

METROPOLIA AMMATTIKORKEAKOULU
KEMIAN LABORATORIO

JoonasvarkoikF.mpws

Method Settings:

Element	Wavelength (nm)	Label	Type	Background Correction	Calibration Fit
K	766.491	K	Analyte	Auto	Linear

Replicates: 3

Rinse time (s): N/A

Calibration Correlation Coefficient Limit: 0.95

Rinse time fast pump: N/A

Pump Speed (rpm): 15

Air Injection Mode: Off

Blank Subtraction: On

Standard addition: Off

Sample introduction: Manual

Reagent Blank: Off

Stabilization time (s): 15

QC Active: Off

Sample Uptake Time (s): 15

Reslope: Off

Sample uptake fast pump: On

Settings per element:

Label (Wavelength nm)	Type	Read Time (s)	Viewing position	Nebulizer Pressure (kPa)
K (766.491)	Analyte	3	0	240

Calibration parameters:

Label (Wavelength nm)	Minimum Concentration	Maximum Concentration	Calibration Error
K (766.491)	0 ppm	22 ppm	5 %

Sequence table:

Sample Label	Weight (g)	Volume (mL)	Dilution
ravinneliuos	1.0	1.0	1.0
A4 10.4	1.0	1.0	1.0
A4 13.4	1.0	1.0	1.0
A4 17.4	1.0	1.0	1.0
A4 20.4	1.0	1.0	1.0
A4 24.4	1.0	1.0	1.0
A4 29.4	1.0	1.0	1.0
A6 17.4	1.0	1.0	1.0
A6 20.4	1.0	1.0	1.0
A6 24.4	1.0	1.0	1.0
A6 29.4	1.0	1.0	1.0
A7 10.4	1.0	1.0	1.0
A7 13.4	1.0	1.0	1.0
A7 17.4	1.0	1.0	1.0
A7 20.4	1.0	1.0	1.0
A7 24.4	1.0	1.0	1.0
A7 29.4	1.0	1.0	1.0

METROPOLIA AMMATTIKORKEAKOULU
KEMIAN LABORATORIO

JoonasvarkoiKF.mpps

Sample Label	Weight (g)	Volume (mL)	Dilution
B2 10.4	1.0	1.0	1.0
B2 13.4	1.0	1.0	1.0
B2 17.4	1.0	1.0	1.0
B2 20.4	1.0	1.0	1.0
B2 24.4	1.0	1.0	1.0
B2 29.4	1.0	1.0	1.0
B3 17.4	1.0	1.0	1.0
B3 20.4	1.0	1.0	1.0
B3 24.4	1.0	1.0	1.0
B3 29.4	1.0	1.0	1.0
B4 10.4	1.0	1.0	1.0
B4 13.4	1.0	1.0	1.0
B4 17.4	1.0	1.0	1.0
B4 20.4	1.0	1.0	1.0
B4 24.4	1.0	1.0	1.0
Sample 33	1.0	1.0	1.0

METROPOLIA AMMATTIKORKEAKOULU

JoonasvarkoiKF.mpws

KEMIAN LABORATORIO

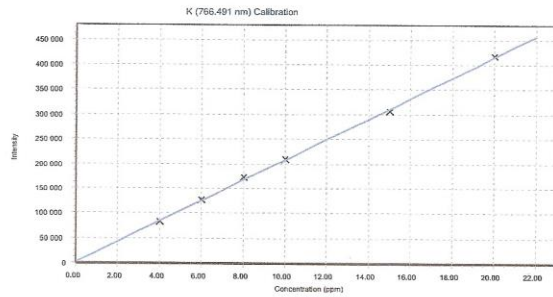
Results:

Label	Date Time	Element Label (nm)	Concentration	Unit	SD	%RSD
Blank	12.5.2015 11:23:02	K (766.491 nm)	0.00	ppm	N/A	N/A
Standard 1	12.5.2015 11:24:05	K (766.491 nm)	4.00	ppm	N/A	N/A
Standard 2	12.5.2015 11:25:08	K (766.491 nm)	6.00	ppm	N/A	N/A
Standard 3	12.5.2015 11:26:06	K (766.491 nm)	8.00	ppm	N/A	N/A
Standard 4	12.5.2015 11:26:56	K (766.491 nm)	10.00	ppm	N/A	N/A
Standard 5	12.5.2015 11:27:47	K (766.491 nm)	15.00	ppm	N/A	N/A
Standard 6	12.5.2015 11:28:40	K (766.491 nm)	20.00	ppm	N/A	N/A
ravinneliuos	12.5.2015 11:29:35	K (766.491 nm)	12.12	ppm	0.08	0.68
A4 10.4	12.5.2015 11:30:32	K (766.491 nm)	13.36	ppm	0.08	0.61
A4 13.4	12.5.2015 11:31:29	K (766.491 nm)	12.90	ppm	0.04	0.30
A4 17.4	12.5.2015 11:32:22	K (766.491 nm)	11.36	ppm	0.04	0.39
A4 20.4	12.5.2015 11:33:20	K (766.491 nm)	8.07	ppm	0.01	0.11
A4 24.4	12.5.2015 11:34:18	K (766.491 nm)	10.08	ppm	0.03	0.29
A4 29.4	12.5.2015 11:35:16	K (766.491 nm)	7.25	ppm	0.02	0.26
A6 17.4	12.5.2015 11:36:14	K (766.491 nm)	8.21	ppm	0.04	0.47
A6 20.4	12.5.2015 11:37:06	K (766.491 nm)	6.79	ppm	0.06	0.83
A6 24.4	12.5.2015 11:37:58	K (766.491 nm)	11.19	ppm	0.08	0.70
A6 29.4	12.5.2015 11:38:50	K (766.491 nm)	11.84	ppm	0.05	0.44
A7 10.4	12.5.2015 11:39:49	K (766.491 nm)	12.21	ppm	0.02	0.20
A7 13.4	12.5.2015 11:40:42	K (766.491 nm)	12.64	ppm	0.06	0.49
A7 17.4	12.5.2015 11:41:38	K (766.491 nm)	11.95	ppm	0.06	0.47
A7 20.4	12.5.2015 11:42:33	K (766.491 nm)	8.56	ppm	0.04	0.41
A7 24.4	12.5.2015 11:43:26	K (766.491 nm)	7.65	ppm	0.02	0.30
A7 29.4	12.5.2015 11:44:15	K (766.491 nm)	11.94	ppm	0.03	0.24
B2 10.4	12.5.2015 11:45:07	K (766.491 nm)	2.69	ppm	0.02	0.65
B2 13.4	12.5.2015 11:46:01	K (766.491 nm)	0.59	ppm	0.00	0.66
B2 17.4	12.5.2015 11:46:56	K (766.491 nm)	1.95	ppm	0.02	0.77
B2 20.4	12.5.2015 11:47:48	K (766.491 nm)	0.02	ppm	0.00	7.88
B2 24.4	12.5.2015 11:48:41	K (766.491 nm)	0.02	ppm	0.00	4.61
B2 29.4	12.5.2015 11:49:32	K (766.491 nm)	0.24	ppm	0.00	1.24
B3 17.4	12.5.2015 11:50:28	K (766.491 nm)	3.42	ppm	0.02	0.63
B3 20.4	12.5.2015 11:51:17	K (766.491 nm)	1.20	ppm	0.00	0.17
B3 24.4	12.5.2015 11:52:07	K (766.491 nm)	0.05	ppm	0.00	2.97
B3 29.4	12.5.2015 11:52:59	K (766.491 nm)	0.09	ppm	0.00	2.25
B4 10.4	12.5.2015 11:53:44	K (766.491 nm)	3.38	ppm	0.02	0.65
B4 13.4	12.5.2015 11:54:35	K (766.491 nm)	1.34	ppm	0.02	1.34
B4 17.4	12.5.2015 11:55:28	K (766.491 nm)	1.46	ppm	0.00	0.12
B4 20.4	12.5.2015 11:56:21	K (766.491 nm)	0.12	ppm	0.00	1.53
B4 24.4	12.5.2015 11:57:13	K (766.491 nm)	0.12	ppm	0.00	0.98
Sample 33	12.5.2015 11:58:12	K (766.491 nm)	0.16	ppm	0.00	0.65

Calibration Curves:

METROPOLIA AMMATTIKORKEAKOULU
KEMIAN LABORATORIO

JoonasvarkoikF.mpws



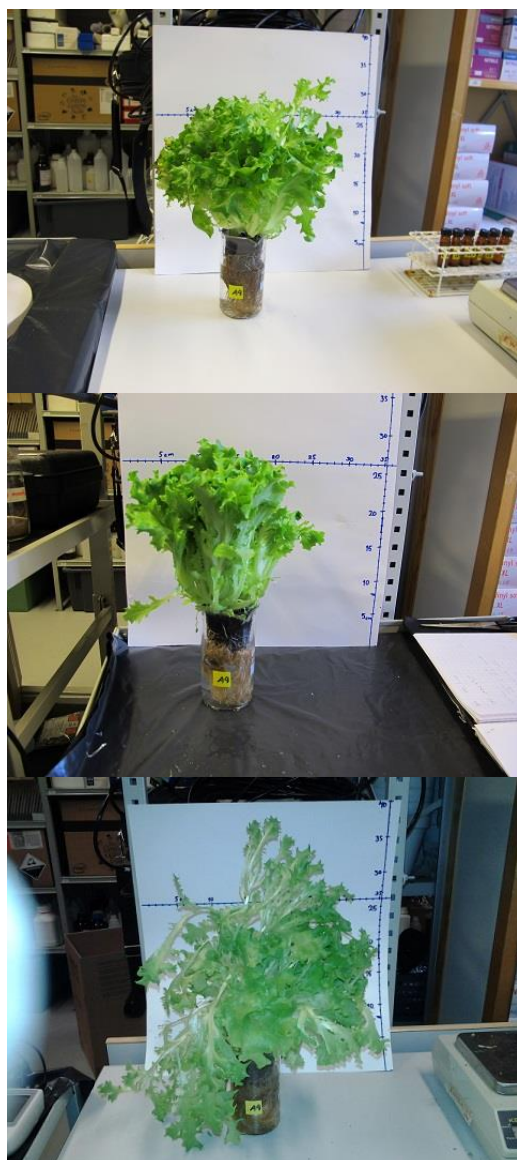
K (766.491 nm)
Intensity = 20685.52 * Concentration +
1653.36
Correlation coefficient: 0.99967

Standards	Intensity	Method Concentration	Actual Concentration	% Error
Blank	0.00	0.00	-0.08	N/A
Standard 1	82740.62	4.00	3.92	2.00
Standard 2	126459.68	6.00	6.03	0.50
Standard 3	172777.69	8.00	8.27	3.37
Standard 4	209710.90	10.00	10.06	0.60
Standard 5	305963.29	15.00	14.71	1.93
Standard 6	417109.32	20.00	20.08	0.40

Liite 2: Kasvien kuvat

Jokaisesta kasvista otettiin kuva kerran viikossa. Otsikoiden alla on kuvat kasveista järjestyksessä ensimmäiseltä, toiselta ja kolmannelta viikolta.

Kasvi A4

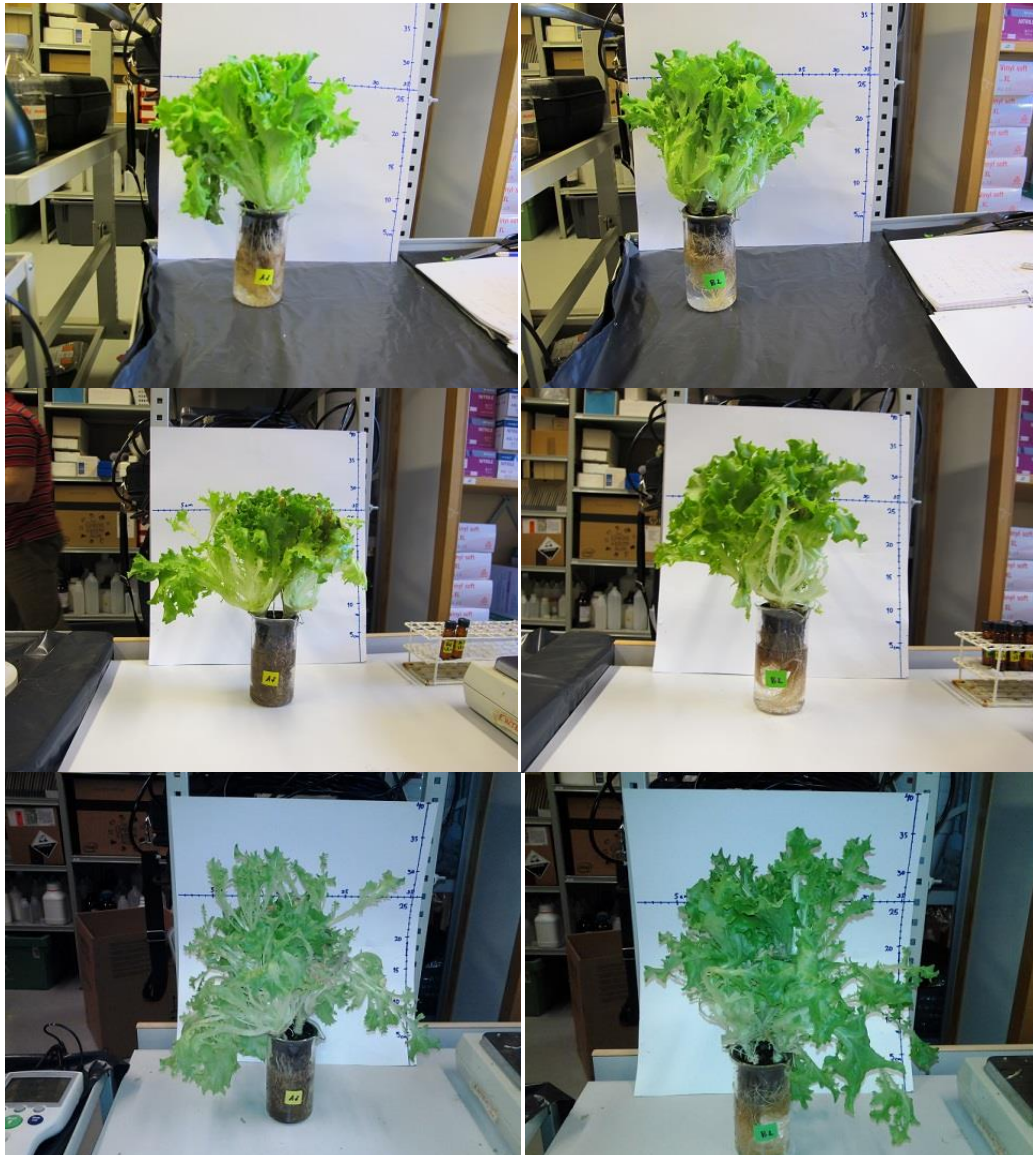


Kasvi A6



Kasvi A7

Kasvi B2



Kasvi B3

Kasvi B4



Liite 3: Tulokset: Ravinteiden määrät, johtokyky, pH, lisätty vesi ja kasvin paino

Taulukko 3. Typen määrä (ppm).

Typpi(ppm)						
pvm	10.4.	13.4.	17.4.	20.4.	24.4.	29.4.
A4	258	278	303	260	353	248
A6	302	238	275	138	323	300
A7	265	330	335	166	244	338
B2	115	57	84	52	29	34
B3	128	55	111	61	50	31
B4	114	66	96	46	39	32

Taulukko 4. Fosforin määrä (ppm).

P (ppm)						
pvm	10.4.	13.4.	17.4.	20.4.	24.4.	29.4.
A4	35	41	36	26	38	20
A6	34	32	26	22	31	33
A7	37	41	39	23	19	23
B2	10	2	7	1	1	1
B3	17	8	13	5	2	0
B4	10	4	6	2	1	0

Taulukko 5. Kaliumin määrä (ppm).

K (ppm)						
pvm	10.4.	13.4.	17.4.	20.4.	24.4.	29.4.
A4	334	323	284	202	252	181
A6	298	283	205	170	280	296
A7	305	316	299	214	191	299
B2	67	15	49	1	1	6
B3	149	84	86	30	1	2
B4	85	34	37	3	3	4

Taulukko 6. Johtokyky ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

	Johtokyky ($\mu\text{S}/\text{cm}$)							
pvm.	9.4.	10.4.	13.4.	17.4.	20.4.	24.4.	27.4.	29.4.
A1						1950		2300
A2	2030	2090	2040	2050	1608		2100	2280
A3								2410
A4	2100	2200	2230	2030	1597	1948	2120	2280
A5								2470
A6	2010	2040	2050	1999		2110	2240	2250
A7	2140	2210	2280	2240	2600	2450	2540	2690
A8	2070	2110	2350	2320	2380		3230	3240
A9								2050
A10	2070	2120	2120	2170			2180	2300
B1								50
B2	851	615	233	434	27	4	6	11
B3	1146	942	509	653	283	16	5	5
B4	1026	650	108	445	65	7	13	7
B5								35
B6								12
B7	1403	1171	590	576	118	24	20	15
B8	1279	849	249	535	66	5	6	13
B9	1234	930	586	617	179	12	4	9
B10	1255	951	387	684	222	21	4	6

Taulukko 7. pH.

pH								
pvm.	9.4.	10.4.	13.4.	17.4.	20.4.	24.4.	27.4.	29.4.
A1						4,21		4,49
A2	5,26	4,26	3,9	3,83	4,03		4,26	4,02
A3								5,55
A4	5,88	6,12	6,24	4,81	4,46	4,11	3,94	4,29
A5								4,37
A6	4,4	4,43	3,95	3,87		3,9	3,83	3,83
A7	5,86	6,33	6,37	6,24	5,36	4,17	4,21	3,69
A8	5,79	6,06	6,51	6,43	5,88		6,19	6,44
A9								4,04
A10	5,36	5,69	5,98	4,96			3,97	4,17
B1						6,02		6,17
B2	5,81	6,39	6,55	4,71	6,57	6,44	6,39	5,53
B3	5,94	6,55	6,97	6,76	6,29	6,25	6,55	5,92
B4	5,35	6	6,56	4,79	6,44	6,24	7,84	6,62
B5	5,87							5,9
B6								6,1
B7	6,23	6,58	6,99	6,72	6,35	6,17	6,23	5,56
B8	5,95	6,2	6,62	5,57	6,12	6,34	6,01	6,62
B9	5,73	6,47	6,97	5,54	5,86	6,16	6,37	6,16
B10	5,36	6,15	6,48	5,09	5,81	6,16	6,46	6,44

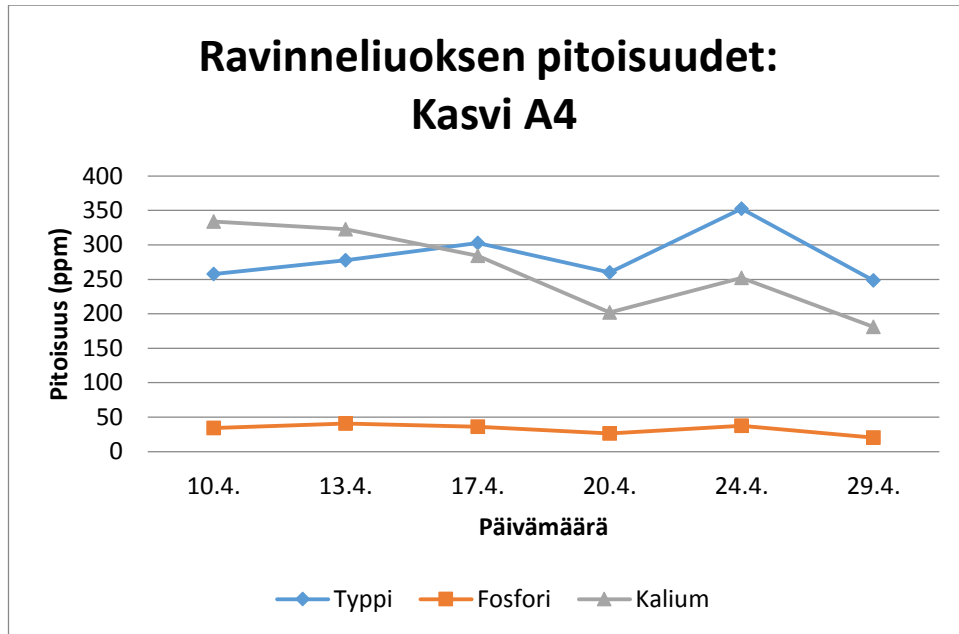
Taulukko 8. Lisätty vesi grammoina.

Lisätty vesi (g)													
	9.4.	10.4.	11.4.	13.4.	15.4.	17.4.	19.4.	20.4.	22.4.	24.4.	27.4.	29.4.	yhteensä
A1	75	65	35	59	47	30	47	38	42	44	39	24	546
A2	80	80	80	93	100	93	49	65	40	67	55	67	870
A3	70	35	45	60	65	61	50	53	39	74	41	12	604
A4	80	50	60	63	87	83		70	79	83	108	59	822
A5	60	50	50	51	46	16	99	12	43	57	54	39	578
A6	90	60	70	72	100	127	100	51	102	109	109	93	1084
A7	75	55	65	82	54	66	99	0	68	59	77	48	746
A8	70	50	45	54	43	50	48	79	33	74	12	13	569
A9	80	25	35	54	63	43	48	13	42	109	111	73	695
A10	80	55	50	60	57	77	48	46	52	64	103	39	732
B1	110	50	60	98		75	100	25	62	66	50	28	723
B2	100	60	70	65	125	117	48	64	120	114	97	59	1038
B3	80	40	55	59	69	67	47	23	64	90	109	71	772
B4	80	65	75	103	67	92	47	37	60	42	77	58	802
B5	80	60	50	72	63	68	49	30	46	58	67	44	686
B6	110	60	65	72	80	80	47	53	65	67	86	58	842
B7	60	40	50	73	44	57	51	60	43	52	66	36	631
B8	70	60	70	89	73	68	100	23	73	85	44	24	779
B9	70	50	55	50	102	106	48	48	42	83	80	57	792
B10	60	40	50	54	71	49	48	15	62	59	102	40	649

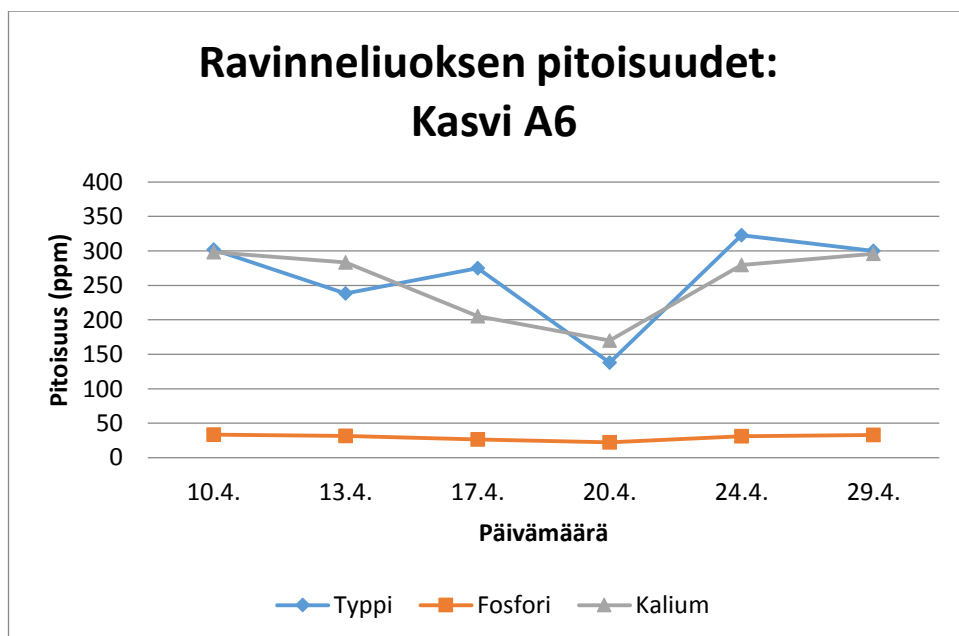
Taulukko 9. Kasvin paino grammoina.

Kasvin paino (g)														
pvm.	13.4.	13.4.	15.4.	15.4.	17.4.	17.4.	20.4.	20.4.	22.4.	22.4.	24.4.	24.4.	27.4.	29.4.
A1	204	174	173		174		175		176		176	109	108	108
A2	182		187		194		199		203		202		201	201
A3	181		184		188		185		189		189	111	109	106
A4	179		187	173	180		183		187		191		193	198
A5	174		178		178		175		175		177		177	176
A6	198		206		211		219	216	221		228		229	232
A7	199		204	186	186	183	169			181	183	177	183	185
A8	184		185	172	170				169	166	166	112	107	98
A9	170		173	143	149		150		150		152		156	162
A10	183		185	175	175		180		179	173	174	169	173	177
B1	198		201		202		203			203	199	112	107	109
B2	209	203	200	170	175		182	180	182		176		186	186
B3	213	195	199	198	200		202		203		203		197	197
B4	164	153	159		164		164		168		167		158	154
B5	207	199	202		202		198		198		197		195	194
B6	212		212		214		217		218		216		219	218
B7	168	157	161	159	154		148		150		144		135	130
B8	195	184	191		193		195		197		181		111	110
B9	178		179		183		184	183	186		186		184	183
B10	164		167	149	153		154		153		152		148	145

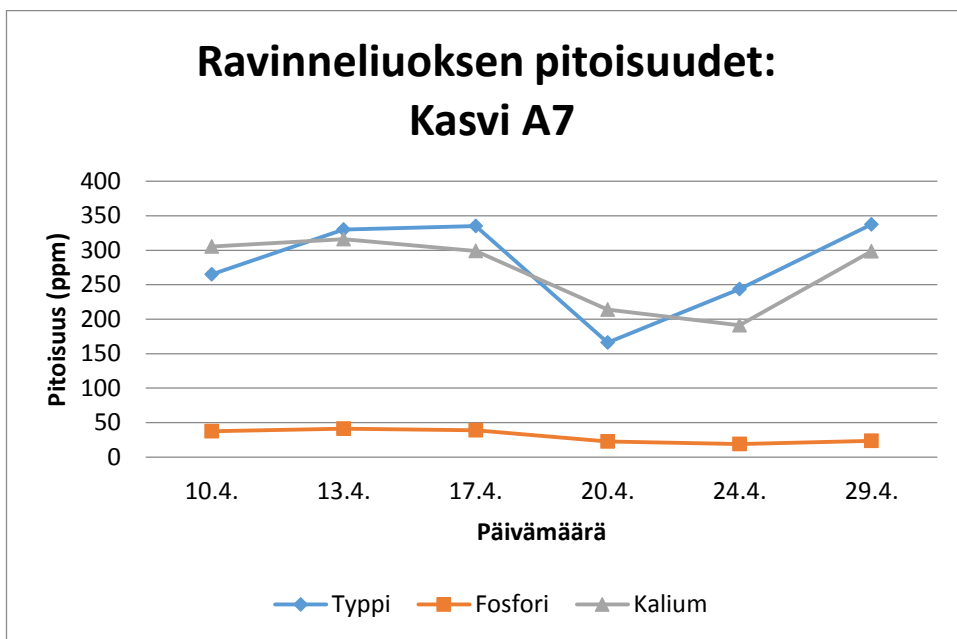
Liite 4: Kuvaajat



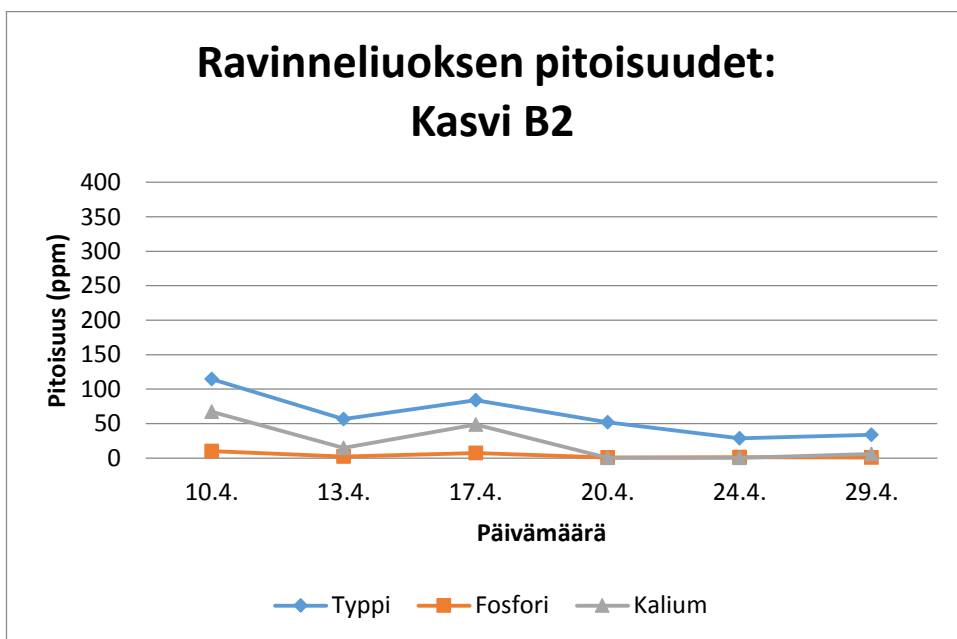
Kuva 9. Ravinteiden pitoisuuksien muutokset kasvin A4 ravinneliuoksessa.



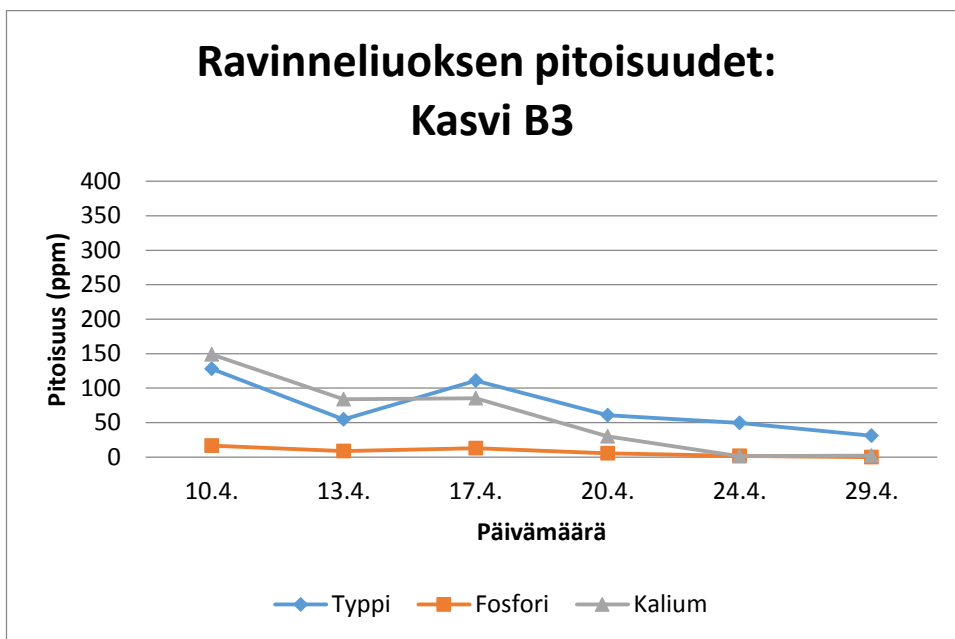
Kuva 10. Ravinteiden pitoisuuksien muutokset kasvin A6 ravinneliuoksessa.



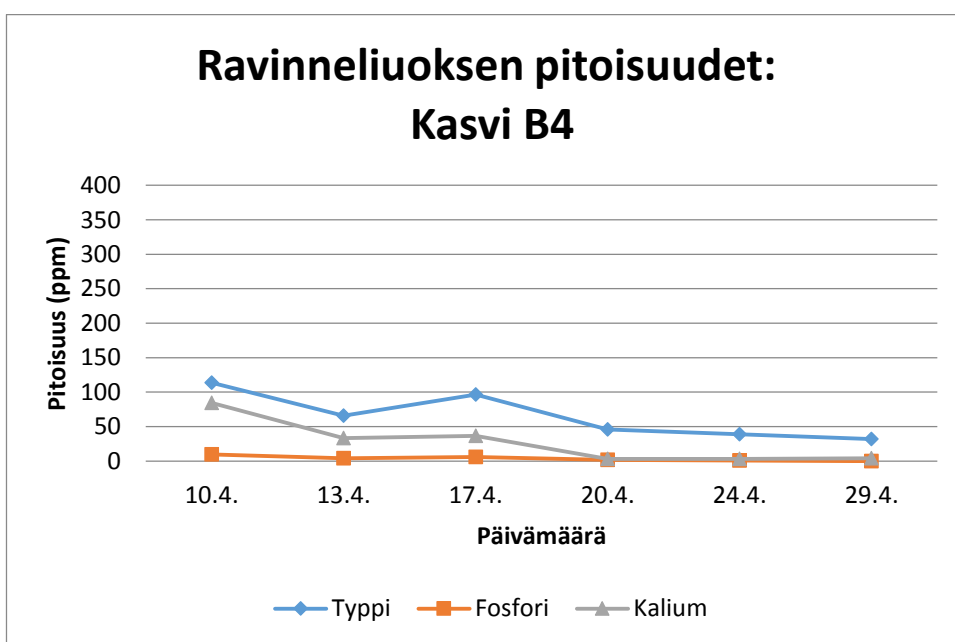
Kuva 11. Ravinteiden pitoisuuksien muutokset kasvin A7 ravinneliuoksessa.



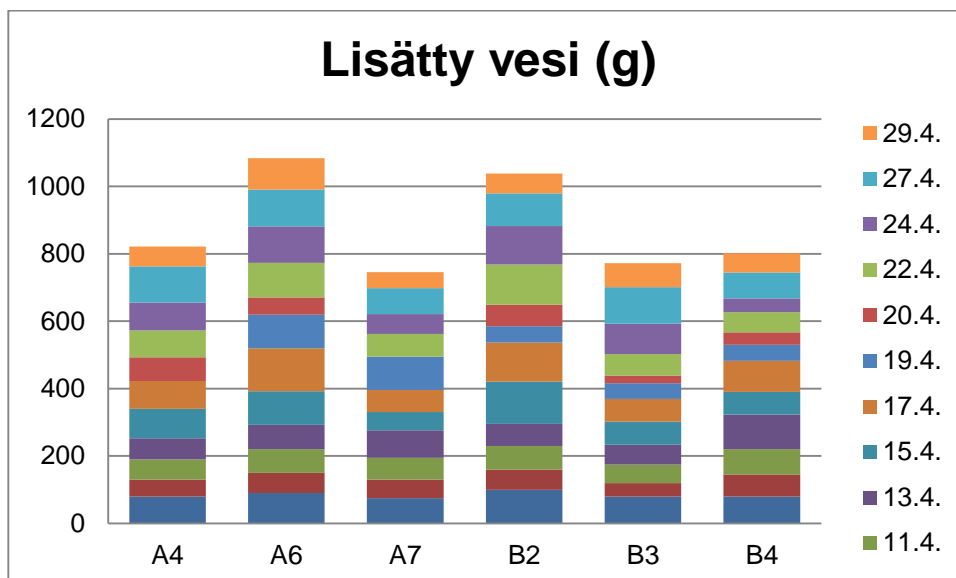
Kuva 12. Ravinteiden pitoisuuksien muutokset kasvin B2 ravinneliuoksessa.



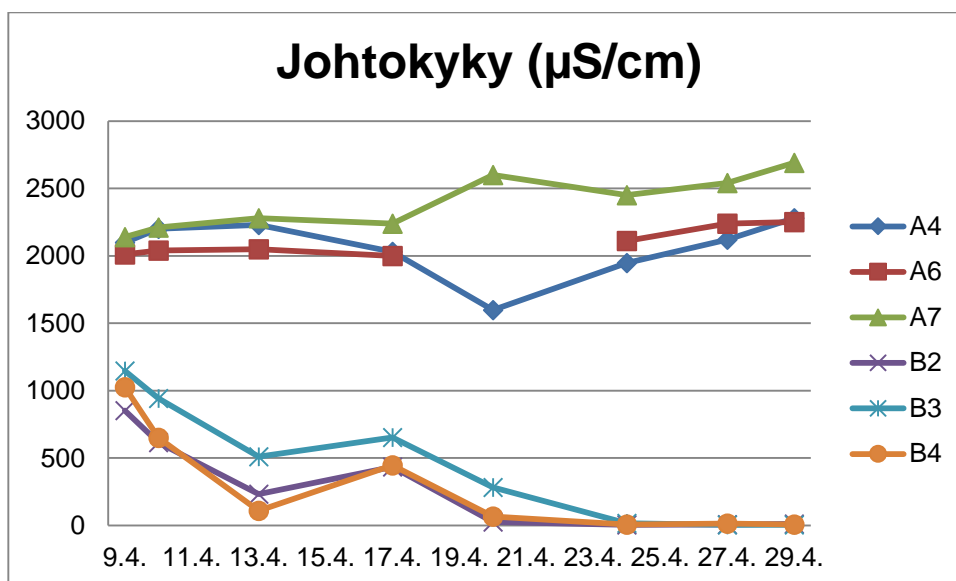
Kuva 13. Ravinteiden pitoisuuksien muutokset kasvin B3 ravinneliuoksessa.



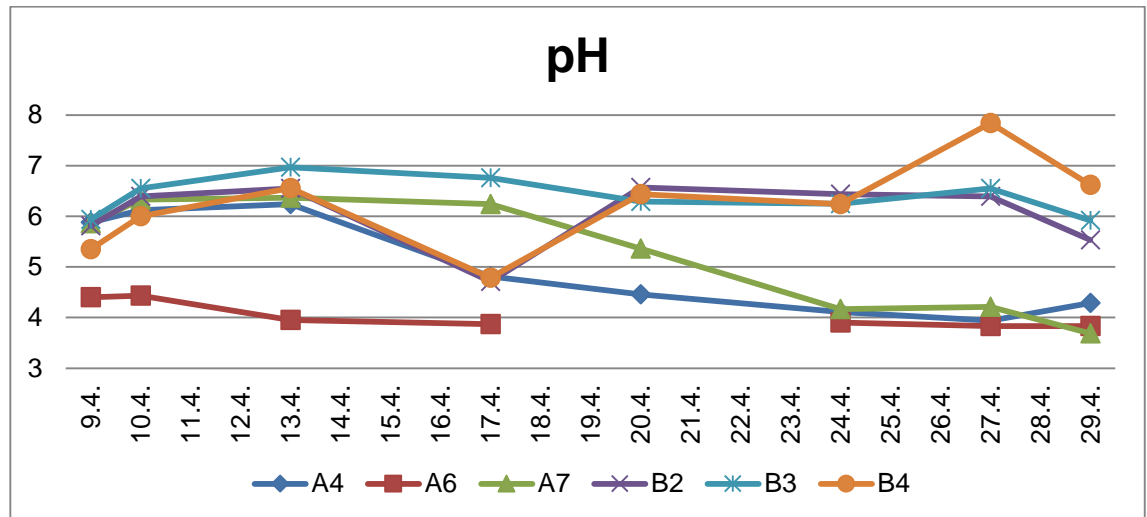
Kuva 14. Ravinteiden pitoisuuksien muutokset kasvin B4 ravinneliuoksessa.



Kuva 15. Lisätty vesi.



Kuva 16. Kasvien Johtokykyarvot kokeen aikana.



Kuva 17. Kasvien pH-arvot kokeen aikana.